

Développement d'un modèle de calcul Bond Graph pour SystemC-AMS

Torsten Mähne, Alain Vachoux et Yusuf Leblebici

Laboratoire de Systèmes Microélectroniques (LSM), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse

Résumé—Il est nécessaire d'améliorer les capacités de modélisation et de simulation de SystemC-AMS afin de supporter des composants conservatifs à temps continu dans plusieurs domaines physiques et leurs interactions avec des composants numériques. Le formalisme des *Bond Graph* unifie la description de systèmes multi-domaines et s'intègre bien avec les graphes de flux de signaux modélisant la partie traitement des signaux et de contrôle de systèmes complexes. Le but de ce travail est l'intégration du formalisme *Bond Graph* dans SystemC-AMS comme nouveau Modèle de Calcul (MoC).

Les progrès continus dans les techniques de production permettent d'intégrer de plus en plus de composants hétérogènes (analogiques, RF, MEMS) dans des systèmes monopuces. SystemC [1] est une bibliothèque C++ qui permet de modéliser des systèmes complexes matériel/logiciel au moyen de processus communicants synchronisés par un noyau de simulation basé sur le modèle de calcul *Discrete Event* (DE). Il existe plusieurs tentatives d'enrichir SystemC pour supporter la conception de systèmes hétérogènes au sens mentionné. SystemC-AMS [2] et SystemC-A [3] utilisent des approches comparables à SPICE, ce qui ne permet pas des gains en simulation significatifs. SystemC-AMS supporte en plus le modèle de calcul *Synchronous Data Flow* (SDF) qui est efficace pour la modélisation du traitement du signal à temps continu. SystemC-WMS [4] utilise une autre approche décrivant les composants continus au moyen de leur matrice de répartition et des ondes d'énergie incidentes et réfléchies. Elle est basée sur les canaux hiérarchiques de SystemC et implique la création d'un grand nombre d'événements discrets limitant les performances de simulation.

Le but de ce travail est d'améliorer les capacités de modélisation et simulation de SystemC-AMS pour des composants conservatifs à temps continu et leur interaction avec des composants numériques de contrôle par l'implémentation d'un nouveau MoC basé sur le formalisme des *Bond Graph* (graphe de liaisons) [5]. Cette approche est attractive pour la conception et la vérification des systèmes monopuces analogiques et mixtes parce qu'elle unifie la description des systèmes multi-domaines. Tout modèle de système propre à un domaine spécifique (p.ex. circuit électrique, système mécanique multi-corps, circuit fluide, circuit thermique) peut être traduit dans un *Bond Graph* décrivant le *flux d'énergie* entre des *composants généralisés* qui représentent des sources d'énergies, des comportements résistifs, capacitifs ou inertiels et des transformations de quantités (aussi entre les domaines physiques). L'énergie est transmise par des liaisons (*bonds*) et est distribuée par des

jonctions. Le lien avec le domaine physique est représenté par les unités attribuées aux variables et paramètres des éléments généralisés. Ceci permet de faire une analyse dimensionnelle pour trouver des interconnexions ou des équations illégales. Un avantage principal des *Bond Graph* est la possibilité d'annoter chaque liaison avec sa causalité pour visualiser l'ensemble de la structure de calcul. Ceci permet d'ordonner les équations des éléments pour une simulation efficace. L'analyse des causalités permet aussi d'effectuer d'autres tests formels pour déterminer le nombre des états/non-états du système, la présence des boucles algébriques ou un modèle mal formulé. La causalité des *Bond Graph* permet leur intégration avec les graphes de flux de signaux du MoC SDF.

Le travail d'intégration du *modèle de calcul Bond Graph* dans SystemC-AMS en est à ses débuts. Il est prévu de compléter les couches architecturales de SystemC-AMS de la manière suivante. La définition de modules mettra à disposition les ports `bg_port` et `bg_bond` pour connecter des modules `bg_module` modélisant les éléments d'une description *Bond Graph*. La capacité de SystemC pour faciliter la modélisation des systèmes complexes par une hiérarchie des modules est conservée. La phase d'élaboration effectuera un regroupement des modules `bg_module` connectés, l'analyse de la causalité, les tests formels mentionnés plus haut et la construction des équations à résoudre par le solveur dédié `bg_solver`. La couche de planification/exécution organise et exécute la simulation et s'occupe de la synchronisation avec le noyau SystemC. Elle notifie le solveur `bg_solver` des événements sur des signaux numériques causant une commutation discrète des flux d'énergies. Une telle commutation dans un modèle *Bond Graph* dit *hybride* requiert la réattribution des causalités aux liaisons concernées et donc la régénération efficace du modèle d'exécution en cours de simulation. Ceci est encore un sujet de recherche [6].

RÉFÉRENCES

- [1] IEEE Standard 1666-2005, *SystemC Language Reference Manual*.
- [2] A. Vachoux, C. Grimm, and K. Einwich, "Extending SystemC to support mixed discrete-continuous system modeling and simulation," in *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 2005*.
- [3] H. Al-Junaid, T. Kazmierski, and L. Wang, "SystemC-A modeling of an automotive seating vibration isolation system," in *Forum on Specification and Design Languages (FDL) 2006*.
- [4] S. Orcioni, G. Biagetti, and M. Conti, "SystemC-WMS : A wave mixed-signal simulator," in *Forum on Specification and Design Languages (FDL) 2005*.
- [5] D. C. Karnopp, D. L. Margolis, and R. C. Rosenberg, *System Dynamics : Modeling and Simulation of Mechatronic Systems*, 4th ed. Wiley, 2006.
- [6] C. D. Beers, E.-J. Manders, G. Biswas, and P. J. Mosterman, "Building efficient simulations from hybrid bond graph models," in *2nd IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems 2006*.